

Opinnäytetyö (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma, insinööri (AMK)

Autotekniikka

2015

Mikko Pakarinen

DIESELAUTOJEN KATSASTUSPÄÄSTÖ- MITTAUKSEN KEHITTÄMINEN

– Euro 3 ja Euro 4 -päästöluokat



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Pakarinen

DIESELAUTOJEN KATSASTUSPÄÄSTÖMITTAUKSEN KEHITTÄMINEN

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisuuksia uudistaa dieselöljyä polttoaineena käyttävien henkilöautojen katsastuksen yhteydessä suoritettavaa pakokaasujen hiukkaspäästömittausta. Nykyisin käytettävä moottoria ryntäyttämällä suoritettava mittausmenetelmä on epähienostunut menetelmä ja ollut käytössä jo kauan ennen nykyisin autoissa käytettävää hienostunutta pakokaasunpuhdistustekniikkaa, joten se on kehityksestä selvästi jäljessä. Tavoitteena on selvittää, voitaisiinko nykyinen menettely korvata uudella, joka antaisi paremman ja totuudenmukaisemman kuvan nykytekniikalla varustettujen dieselautojen pakokaasupäästöjen vaatimustenmukaisuudesta.

Opinnäytetyössä käydään läpi opasiteettimittausmenettely sekä uuteen mittalaitteeseen perustuva menettely, jota laitevalmistaja kuvaa uuden sukupolven opasiteettimittaukseksi, joka perustuu valon sirontaan. Lisäksi esitellään käytetty laitteisto ja käydään läpi sen hankinta- ja huoltokustannukset.

Tutkimuksen aikana mitattiin 58 Euro 3 ja Euro 4 -päästöluokiteltua henkilöautoa sekä 72 Euro 5 ja Euro 6 -päästöluokiteltua henkilöautoa, ja saaduista tuloksista muodostettiin kuvaajia ja taulukoita tulosten analysointia varten. Tässä raportissa käsitellään vanhempia päästösukupolviin kuuluneita 58 autoa, ja uudempien 72 auton tulokset on raportoitu opiskelijakollega Pekka Lesosen opinnäytetyössä. Tulokset analysoitiin ja niiden perusteella tehtiin päätelmiä mittausmenettelyjen eduista sekä mahdollisesta diesel-henkilöautojen katsastusmittauksen uudistamisesta. Mittaukset suoritettiin syksyn 2014 aikana Turun ammattikorkeakoulun autolaboratoriossa sekä yhteistyössä Turun seudun autotalojen kanssa heidän toimitiloissaan.

Taulukoiden analysoinnin tuloksena saatiin positiivinen näyttö valon sirontaan perustuvan mittausmenettelyn käytölle nykyisen menettelyn tilalle tai rinnalla käytettäväksi. Uuden periaatteen mittakammio on huomattavasti opasiteettikamiota tarkempi ja vakaampi eri mittauskertojen välillä. Uusi kammio tulisi ottaa käyttöön, mikäli tahdotaan tehokasta ja tarkkaa päästöjenvalvontaa. Suurin uuden mittausmenettelyn hyöty saavutetaan pienipäästöisillä Euro 4, Euro 5 ja Euro 6-päästöluokkien ajoneuvoilla.

ASIASANAT:

Dieselajoneuvo, OBD, mittalaitteet, kammio, massavirta, opasiteetti, vaatimustenmukaisuus.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and transportation engineering | Automotive engineering

January 2015 | Total number of pages: 42

Instructor : Markku Ikonen

Mikko Pakarinen

DEVELOPING THE EMISSION MEASUREMENT IN INSPECTION OF DIESEL CARS

This thesis studies the possibilities to reform the exhaust gas measurement of the diesel fueled passenger vehicles during the annual inspection. The current measurement is considered as an unsophisticated method and has been in use for a long time before the present-day technology, so it is clearly lagging behind the vehicle development. The aim of this work is to determine whether the current procedure could be replaced by a new procedure, which would give a better and a more accurate picture of particulate emissions vehicles using present-day technology.

The thesis goes through the traditional opacity measurement and a new generation of opacity measurement which is based on light scattering instead of opacity itself. It also presents the equipment used and runs through the acquisition and maintenance costs of the equipment.

There were 58 Euro 3 and Euro 4 emission classified passenger vehicles measured during this study. Also 72 newer, Euro 5 and Euro 6 emission classified vehicles were measured for the other thesis, prepared by a fellow-student, related to this one. The measurements were carried out in autumn 2014 and they were done in the automotive laboratory of Turku University of Applied Sciences and in cooperation with a few aftersales companies in the area of Turku using their facilities. Tables and graphs were formed from the results. The results were analyzed and conclusions were made on the basis of the measurement procedures as well as the potential benefits of diesel passenger vehicles in the reform of the inspection particulate measurement.

In the basis of analyzing tables it is shown that measurement which uses light scattering is recommended method. The chamber that uses light scattering method is much more accurate and more stable between the measurements compared to the opacity chamber. The new chamber should be introduced by the side of the current method if the result of the measurement procedure is wanted to be a more efficient and more accurate way to monitor emissions. Biggest benefits would be gained with Euro 4, Euro 5 and Euro 6 emission categorized vehicles.

KEYWORDS:

Emissions, inspection, light scattering, diesel, opacity, measurement

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
1.1 Tutkimuksen tausta	5
1.2 Tutkimuksen tavoite	5
2 TOIMEKSIANTAJATAHOT, MITTALAITTEET JA MITTAUSMENETELMÄT	7
2.1 Toimeksiantajatahot	7
2.2 Mittauksissa käytetyt laitteistot	9
2.3 Mittausmenetelmät	11
3 TYÖN TOTEUTUS	14
3.1 Mittausten suorittaminen	14
3.2 Mittaustapahtuma	16
3.2.1 Opasiteettiperiaate	16
3.2.2 Massavirtaperiaate	21
4 TULOSTEN ESITTELY	23
4.1 K-arvo eri mittausmenetelmillä	24
4.2 Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani	33
5 TULOSTEN ANALYSOINTI	37
5.1 Päätelmät tuloksista	37
5.2 Tuloksiin vaikuttavat tekijät	39
6 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1. Yksilölliset mittaustulokset suuruusjärjestyksessä.

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Nykyisin katsastuksessa käytettävä dieselautojen ns. opasiteettiperiaatteeseen eli pakokaasun valonläpäisyn mittaamiseen perustuva hiukkasmittausmenetelmä on kehitetty aikana, jolloin hiukkassuodattimia ei käytetty. Menetelmä ei pysty mittaamaan nykytekniikalla varustettujen dieselautojen hiukkaspäästöjä eikä anna todenmukaista kuvaa käytössä olevien autojen vaatimustenmukaisuudesta.

Lisäksi nykyiseen mittausperiaatteeseen kuuluva ryntäyttäminen täydelle pyörintänopeudelle on epähienostunut menetelmä, jolle olisi hyvä löytää vaihtoehto. Ryntäytysmenetelmää ei voi nykyisin edes käyttää kaikilla autoilla, koska useiden uudempien autojen moottorin pyörintänopeus on rajoitettu kuormittamattomana suunnilleen puoleen maksimipyörintänopeudesta.

Työn tilaaja on Trafi yhdessä kansallisen TransSmart-tutkimusohjelman kanssa, jota koordinoi Teknologian Tutkimuskeskus, VTT. Turun ammattikorkeakoulun Auto- ja kuljetustekniikka on useasti ennenkin toteuttanut tutkimuksia yhteistyössä VTT:n kanssa. (Ikonen 2014.)

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia dieselöljyä polttoaineena käyttävien henkilöautojen hiukkaspäästömittausten tulosten eroja perinteisen opasiteettimittauksen ja uudempaan tekniikkaan perustuvan mittausmenettelyn välillä.

Tavoitteena on selvittää, voitaisiinko nykyisin katsastuksessa käytettävä dieselautojen päästömittausmenetelmä korvata uudella menettelyllä, joka

antaisi paremman ja totuudenmukaisemman kuvan nykytekniikalla varustettujen dieselautojen hiukkaspäästöjen vaatimustenmukaisuudesta.

Päästörajoitukset tiukkenevat ja mittausmenetelmästä halutaan tarkempi, jotta tiukemmin rajoitettuja päästöjä voidaan tutkia luotettavasti ja tarkasti.

Osa tutkimuksesta kohdistuu uudentyyppiseen hiukkasmittauslaitteeseen, joka on saatu lainaksi Diagno Finland Oy:ltä. Laitetoimittaja kutsuu laitetta toisen sukupolven opasiteettimittariksi. Toisin kuin perinteisessä mittarissa, jonka toiminta perustuu valon läpäisyn mittaamiseen, uuden laitteen toimintaperiaatteena on valon siroaminen. Se kykenee laskemaan mitatusta valonsironta-arvosta vastaavan massavirta-arvon, joten tässä työssä puhuttaessa toisen sukupolven opasiteettimittarista käytetään selkeyden kannalta tästä eteenpäin ilmaisua massavirtamittaus.

Tutkimuksessa kerättiin tietokantaa mittaustulosten korrelaatiosta, kun 72 uusinta tekniikkaa (Euro 5 ja Euro 6 -päästötasot) edustavaa diesel-henkilöautoa sekä 58 vanhempaa autoa (Euro 3 ja Euro 4 -päästötasot) mitattiin rinnakkain sekä uutta että vanhaa menetelmää käyttäen. Uusinta tekniikkaa edustavien autojen mittaukset käsitellään ja raportoidaan erillisessä Pekka Lesosen opinnäytetyössä. Lisäksi selvitettiin uudentyyppisen mittalaitteen hankinta-, huolto-, käyttö- ja ylläpitokustannukset.

Tutkimuksen lopputuloksena toivottiin löydettävän vaihtoehtoinen hiukkaspäästöjen mittausmenetelmä, jolla mahdollisesti voitaisiin tulevaisuudessa korvata nykyisin käytössä oleva katsastuksen hiukkaspäästömenetelmä tai kenties ottaa uusi menetelmä viralliseen käyttöön nykyiselle menetelmälle rinnakkaisena vaihtoehtona.

2 TOIMEKSIANTAJATAHOT, MITTALAITTEET JA MITTAUSMENETELMÄT

Tämän otsikon alaisena esitellään opinnäytetyön mahdollistaneet tilaajatahot, käytetty mittalaitteisto ja perehdytään laitteistojen mittausperiaatteisiin sekä opasiteettiin ilmiönä. Henkilö- ja pakettiautojen määräaikaikatsastuksessa suoritettavasta pakokaasujen mittauksesta sekä hiukkaspäästöjen rajoista ja merkityksestä kertoo Pekka Lesonen omassa aihepiiriin liittyvässä opinnäytetyössään.

2.1 Toimeksiantajatahot

TraFi

Liikenteen turvallisuusvirasto TraFi muodostettiin yhdistämällä Ajoneuvohallintokeskus AKE, Ilmailuhallinto, Rautatievirasto sekä Merenkululaitoksen meriturvallisuustoiminto. TraFi aloitti toimintansa vuoden 2010 alussa. Sitä ennen tieliikennettä, eli myös määräaikaikatsastuksia päästömittauksineen, hallinnoi ja valvoi Ajoneuvohallintokeskus AKE. (Trafi 2014.)

Trafi antaa tarvittavia lupia, hyväksyntöjä ja muita päätöksiä sekä toimialaa koskevia oikeussääntöjä, vastaa tutkintojen järjestämisestä, toimialan verotus- ja rekisteröintitehtävistä sekä luotettavista tietopalveluista. Lisäksi virasto valvoo liikennemarkkinoihin liittyviä tehtäviä sekä liikennejärjestelmää koskevien sääntöjen ja määräysten noudattamista. (Trafi 2014.)

TraFissa työskentelee noin 530 työntekijää kymmenellä eri toimipaikalla. Viraston pääjohtaja on ollut vuodesta 2010 alkaen Kari Wihlman. (Trafi 2014.)

VTT:

Vuonna 1942 perustettu, nykyiseltä nimeltään Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, on Pohjois-Euroopan suurin soveltavaa tutkimusta harjoittava yritys. Yritys tarjoaa huipputeknisiä ratkaisuja sekä innovatiivisia palveluja. VTT tuottaa sekä kotimaisille että kansainvälisille asiakkaille teknologia- ja tutkimuspalveluja. VTT kuuluu työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalaan ja on osa Suomen innovaatiojärjestelmää. (VTT 2013.)

VTT:n liikevaihto oli vuoden 2012 lopussa 316 miljoonaa euroa. Henkilökuntaa vuonna 2013 oli yhteensä 2900 henkilöä. Yhtiön pääjohtajana toimii Erkki K.M. Leppävuori. VTT:lle on myönnetty ISO 9001:2008 -sertifikaatti. (VTT 2013.)

TransSmart:

TransSmart-tutkimusohjelma on pitkävaikutteinen projekti, joka toimii kehitysalustana sujuvalle, kustannustehokkaalle ja ympäristöystävälliselle liikennejärjestelmälle. TransSmartilla on kaksi päätavoitetta, jotka tuovat esiin sekä yhteiskunnallisen että liiketoiminnallisen ulottuvuuden. Ensimmäinen tavoite on tuottaa tehokkaita liikennepalveluja minimoimalla sekä kustannukset että ympäristövaikutukset. Toinen tavoite on kehittää uutta vähähiilistä ja älykästä liikennettä sekä siihen liittyvää liiketoimintaa suomalaisille toimijoille. (TransSmart 2013.)

Lisäksi tutkimusohjelma liikennejärjestelmän uudistuksen aikaansaamiseksi tuottaa tietoa ja työkaluja päätöksentekijöille. Ohjelma tavoittelee neljän vuoden ajanjaksolla noin 50 miljoonan euron kokonaislaajuutta. (TransSmart 2013.)

TransSmart tutkimusohjelmaa koordinoi Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. VTT Oy tähtää sisällyksekääseen yhteistyöhön yritysten kanssa alkaen jo tuotekehitysprosessivaiheesta sekä toteuttaa innostavia uuden tekniikan pilottihankkeita yhteistyössä yritysten kanssa.

Keskeisenä toimintamallina tutkimushankkeella on yhteistyö eri tahojen kanssa. Ohjelmalla on ulkoinen johtoryhmä, jossa ovat edustettuina monta tie-liikennealaan vaikuttavaa olennaista tahoa. Johtoryhmään kuuluu muun muassa ministeriöt (LVM, TEM, VM, YM) ja virastot (TraFi, LiVi), kuntasektori (HSL), useat alaan liittyvät yritykset (Neste Oil, Valmet Automotive, St 1) sekä etujärjestöjä (SKAL, ÖKL, Autotuojat, TT). (TransSmart 2013.)

TransSmart-tutkimusohjelma kerää tietopohjaa tutkimuslaitosten, korkeakoulujen (TuAmk, Tamk, Metropolia) ja yritysten tutkimustoiminnalla, ja pääsääntöisesti yritysten vetämillä demonstraatiohankkeilla. Osa tutkimushankkeista rakennetaan siten, että ne palvelevat yritysten demonstraatiohankkeita teknisellä tuella. (TransSmart 2013.)

TransSmart-tutkimushankkeen teemoja ovat vähähiilinen energia, edistyselliset ajoneuvot, älykkäät liikennepalvelut sekä liikennejärjestelmän kehittäminen. (TransSmart, 2013)

2.2 Mittauksissa käytetyt laitteistot

Virallisen opasiteettimittauksen suorittamiseen käytettiin Diagno Oy:ltä hankittua AVL DiTest GmbH:n laitteistoa. Virallinen pakokaasuanalysaattori AVL DiSmoke 480 -savutusmittamoduuli oli kytketty tietokonepääteeseen yhdessä AVL DiOBD 880 OBD-päätteen, AVL DiLink 480 väylämoduulin sekä uuden AVL DiTest Smoke 2000 -massavirtakammion kanssa. Voimassa oleva ohjelmiston versio oli DSS OM-FI V13.0. Laitteiston kalibrointi suoritetaan vuosittain vuosihuollon yhteydessä. Viimeksi tämä on tehty 26.6.2014. Savutusmittamoduuli joutui syyskuussa vikatilaan, jonka seurauksena loput mittaukset suoritettiin lainakammioilla, joka kalibroitiin 17.9.2014 ja toimitettiin käyttöön heti tämän jälkeen.

Mittauksissa käytetty AVL:n valmistama mittauslaitteisto edustaa alan uusinta teknologiaa. Malli on ollut Turun ammattikorkeakoululla muutaman vuoden,

joten uusikin versio on jo ilmestynyt. Voidaan silti puhua uudehkosta mittalaitteistosta.

Uuden vastaavan yhdistelmälaitteen, AVL CDS 450, hankintahinta on tällä hetkellä 8 500 euroa arvolisäveron ollessa 0%. Arvioitu hinta uudella massavirtakammioilla varustettuna on noin 9 500 euroa (alv 0%).

Laitteen huolto sisältää lähinnä vuosikalibroinnin ja suodattimien vaihdon, eli kyseessä on toimenpide, joka on hyvin lähellä nykyistä bensiinianalysaattorin huoltoa. Bensiinianalysaattorin vuosihuollon kustannus on noin 200-300 euroa (alv 0%) Diagno Finland Oy:n toimitusjohtaja Juha Seppälän mukaan. Uuden laitteen huolto- ja ylläpitokustannukset ovat nykyisen virallisen laitteiston kaltaiset.

Varsinaisena tutkimuskohteena ollut uuteen mittausperiaatteeseen nojaava Smoke 2000 -mittakammio ei ole vielä sarjatuotannossa ja sen hyväksyttäminen Saksan hyväksyntäviranomaisilla PTB:llä on kesken. Hyväksyntäprosessi valmistui vuoden 2014 lopulla ja laite on tulossa lähiaikoina sarjatuotantoon.

2.3 Mittausmenetelmät

Opasiteettimittauksessa on kyse väliaineen eli pakokaasun kyvystä absorboida valoa. Pakokaasuun kyky absorboida valoa ilmoitetaan absorptiokertoimella eli k -arvolla (m^{-1}). Mitä suurempi on väliaineen opasiteetti, sitä tehokkaammin se vaimentaa läpikulkevaa säteilyä ja sitä suurempi on k -arvo (Turun yliopisto 2011). Pakokaasunäyte saadaan pakoputkeen asetetulla sondilla jolla osa pakokaasuvirrasta ohjataan talteen. Näyte kulkeutuu mittakammioon, jossa opasiteetti mitataan ja tulos ilmoitetaan näyttöpäätteellä.

Opasiteettimittauksessa mittaustulokseen voi hiukkasten lisäksi vaikuttaa myös esimerkiksi valkea savu, joka voi syntyä, kun moottori on ollut pitkään tyhjäkäynnillä. Savu on hiilivetyjen, vesihöyryn ja typpimonoksidin kemiallinen vaaraton yhdistelmä, joka muodostuu kylmän katalysaattorin lämmetessä nopeasti. Savu on valoa absorboivaa, joten se vaikuttaa mittaustulokseen huonontamalla mittaustulosta, kuten tekee myös moottorin voiteluöljyn palaessa syntyvä sininen savukin (Paavola 2011, 46). Tuloksesta ei saada eriteltyä vaikuttavia tekijöitä, joten ajoneuvo voidaan hylätä katsastuksessa, vaikka varsinaiset hiukkaspäästöt eivät ylittäisikään sallittua raja-arvoa (kuva 1).

Stage	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM	PN
		g/km					#/km
Compression Ignition (Diesel)							
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)	-
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08	-
Euro 2, DI	1996.01 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10	-
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05	-
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025	-
Euro 5a	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^f	-
Euro 5b	2011.09 ^c	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^f	6.0×10 ¹¹

* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N₁ vehicles

† Values in brackets are conformity of production (COP) limits

a. until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)

b. 2011.01 for all models

c. 2013.01 for all models

d. and NMHC = 0.068 g/km

e. applicable only to vehicles using DI engines

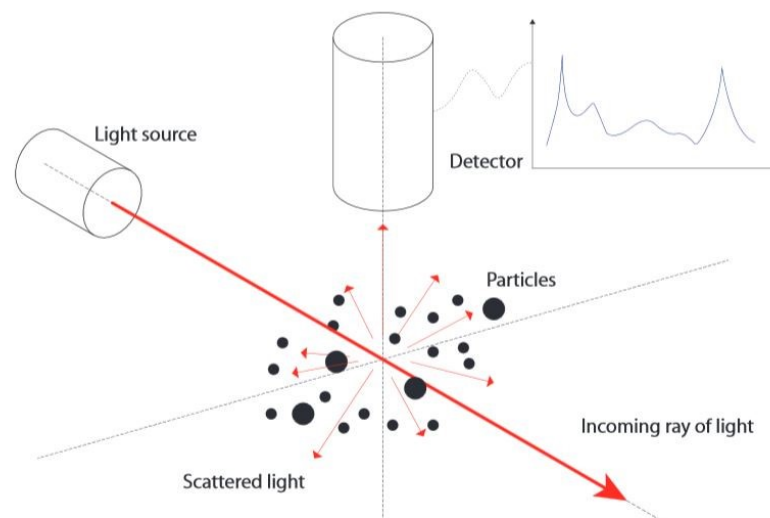
f. 0.0045 g/km using the PMP measurement procedure

g. 6.0×10¹² 1/km within first three years from Euro 6 effective dates

Kuva 1. Pakokaasupäästöjen raja-arvot diesel henkilöautoille, Dieselnät 2013.

Kuvasta 1 selviää pakokaasujen päästörajat diesel-henkilöautoille. Hiukkaspartikkelit ovat toiseksi viimeisessä sarakkeessa vasemmalta päin luettuna kohdan PM alla.

Massavirtamittauksessa, eli seuraavan sukupolven opasiteettimittauksessa, itse näytteen ottaminen suoritetaan samalla tavalla kuin opasiteetin kohdalla, mutta se, miten kammio laskee tuloksen, eroaa opasiteettimittauksesta. Uuden mittakammion toimintaperiaate perustuu valon sirontaan (kuva 2).



Kuva 2. Valon siroutumiseen perustuvan hiukkasmittauksen periaate, AVL DiTest FmbH 2010.

Kuvasta 2 havaitaan, että ”pakokaasunäytteeseen ohjataan valonsäde, josta sironneet valonsäteet havaitaan ja lasketaan k-arvo empiirisesti määritetyn, epälineaarisen funktion avulla” (AVL DiTest GmbH 2010). Tästä k-arvosta johdetaan myös massavirran suuruus, joka ilmoitetaan milligrammoina kuutiometriä kohden (mg/m^3). Massavirta määritetään edelleen valon siroamisesta saman funktion avulla. Arvojen laskemiseen käytetty funktio on määritetty vertailevilla mittauksilla Saksan kansallisessa tutkimuskeskuksessa PTB:llä.

Katsastusdirektiivi tuntee hyväksyttävänä mittausarvona vain k -arvon, joten tuloksena näytetään ensisijaisesti opasiteetti k -arvona, ja massavirtatulos näytetään tämän lisäksi.

3 TYÖN TOTEUTUS

3.1 Mittausten suorittaminen

Euro 3 ja Euro 4 -päästöluokkien kohdalla mittaukset suoritettiin syksyn 2014 aikana. Pekka Lesosen opinnäytetyössä raportoituja Euro 5 -päästöluokan autoja mitattiin pääsääntöisesti keväällä 2014, mutta kolmasosa niistä mitattiin syksyllä vanhempien autojen mittauksien yhteydessä. Mitattavat autot valikoitiin rekisteröintipäivämäärän mukaan. Tässä työssä käsitellään mittaustuloksia autoista, jotka on ensirekisteröity ennen syyskuuta 2010.

Ennen mittausprojektin aloittamista sovimme opinnäytetyöni ohjaajan Markku Ikosen kanssa tavoitteet tulevalla projektille. Kävimme yhdessä läpi suunnitelmaa toteuttaa mittaukset hallitusti tietyn aikataulun puitteissa sovitulle automäärälle, joka oli määritelty olemaan 50 (+) autoa. Laitteiston toimintaan olin tutustunut jo aiemmin koulumme autolaboratoriossa suoritettavan Autotekniset mittaukset -kurssilla sekä keväällä 2014 avustaessani Euro 5 -päästöluokan mittausten suorittamisessa. Laitteiston toimintaperiaate ja käyttö käytiin kuitenkin vielä syksyllä läpi Turun ammattikorkeakoulun Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelman laboratorioinsinööri Juha-Pekka Lindqvistin johdolla ennen mittausprojektin aloittamista.

Olen itse mitannut jokaisen syksyllä mitatun auton, jotta mittaustapahtumat olisivat mahdollisimman paljon toistensa kaltaisia ja tulokset helposti purettavissa analysointia varten.

Mittauksia suoritettiin *syyskuun* aikana siten, että mitattava auto haettiin Turun alueelta autotalon vaihtoautorivistä ja ajettiin Sepänskadulle, jossa sijaitsee Turun ammattikorkeakoulun autolaboratorio, joka toimi projektin mittaussympäristönä syyskuun ajan. Autoja saatiin mitattavaksi Turun VV-Autosta, Keskusautohalli Oy:n Turun toimipisteestä sekä Turun Rinta-Jouppi Oy:ltä. Lisäksi muutama auto saatiin lainaan yksityishenkilöiltä. Vaihtoautojen valikoimasta valittiin otantaan sopivia autoja ne ajettiin Sepänskadulle. Samalla

auto saatiin lämpimäksi ja valmiiksi mittaustapahtumaa varten. Auton jäähdytinnesteen lämpötila tuli päästötestin suorittamiseksi olla vähintään 60 Celsius-astetta, jotta ohjelma salli aloittaa mittauksen.

Karstanpolttoa ei suoritettu, vaan ajo oli rauhallista, pääosin kaupunkiin sijoituvaa siirtymäajoa. Ajotapahtuma oli verrattavissa Turun alueella liikkuvien autojen normaaliin ajotapahtumaan.

Lokakuussa mittauksia suoritettiin siten, että mittalaitteisto siirrettiin pois ammattikorkeakoulun autolaboratoriolta ja vietiin suoraan autotalojen tiloihin (kuva 3). Laitteisto on melko helppo kuljettaa, ainoa haaste on laitteiston korkeus, minkä seurauksena tarvitaan suurehko pakettiauto, jotta laitteiston saa kuljetettua ilman suurempaa purkamista.



Kuva 3. Mittaustapahtuma käynnissä Turun Keskusautohalli Oy:n pihalla.

Laitteiden liikuttelua autotaloihin sovellettiin kolmen eri autotalon kohdalla, jotka olivat Turun Keskusautohalli Oy, Delta Auto Oy sekä Raisio Autokeskus Oy. Mittaaminen autotaloissa mahdollisti paljon suuremman autokannan saannin lyhyemmässä ajassa, kun jokaista autoa ei tarvinnut ajaa erikseen toiselle

puolelle kaupunkia lyhyen mittaustapahtuman takia. Autot lämmitettiin ajamalla pieni ajosuorite ja antamalla lämmetä tyhjäkäynnillä pihalla rivissä siihen asti, että jäähdytinnesteen tavoitelämpötila saavutettiin.

Kyseiset autotalot suhtautuivat erittäin yhteistyöhaluisesti projektiin ja mittauksia saatiin suorittaa kussakin autotalossa rauhassa omatoimisesti niin monelle autolle kuin oli tarve. Olosuhteet olivat hyvin samankaltaiset kuin koulumme autolaboratoriossa, joskin joitakin mittauksia piti tehdä taivasalla asentajien hallityöskentelyä haittaavan melun takia. Tästä ei havaittu tulevan eroavaisuuksia tuloksiin, vaan tilanne oli lähtökohdaltaan sama kuin sisällä työskennellessä. Mittauksia ulkona suoritettaessa lämpötila vaihteli 5-20 Celsius-asteen välillä. AMK:n Autolaboratoriossa suoritettujen mittauksien aikana hallin ovet olivat auki, joten lämpötila oli lähellä ulkolämpötilaa.

3.2 Mittaustapahtuma

Mittauksia suoritettiin kahdella menettelyllä, joissa tarvittavat toimenpiteet eroavat hieman toisistaan. Vertailua tehtiin opasiteettiperiaatteeseen ja massavirtaan perustuvien mittauskammioiden välillä. Mittauksia suoritettaessa havainnointiin mahdollisia eroja käytön helppoudessa ja tehokkuudessa. Seuraavassa on käsitelty kumpaakin mittausmenettelyä erikseen.

3.2.1 Opasiteettiperiaate

Perinteinen opasiteettiperiaatteeseen perustuva mittausmenettely aloitetaan ajamalla auto laitteiston viereen. Tietokonepääätteeltä valitaan AVL DSS Suomen päästötesti -ohjelma ja valitaan painikkeista 'Virallinen mittaus'. Tämän jälkeen ohjelmaan syötetään haluttu testi dieselöljyä polttoaineenaan käyttäville autoille tarkoituista kohdista, jotka ovat tässä tapauksessa Turbodiesel, Imudiesel tai Euro IV. Suurin osa mitatuista autoista mitattiin käyttämällä Euro IV -kohdan mittausa. Tulokset ovat mittaushjelmasta riippumatta samanlaisia virallisia päästörajoja lukuunottamatta.

Seuraavaksi ohjelmaan syötetään auton perustiedot. Rekisteritunnus, ensirekistöröinnin päivämäärä, ajokilometrit sekä ajoneuvovalmistajan määrittelemä kyseisen auton kilpiarvo (kuva 4). Kilpiarvo on merkitty neliön sisään ja sen sijainti on autokohtainen. Usein se löytyy kuljettajan ovipilarista tai konepellistä moottorin puolelta.



Kuva 4. Valmistajan kilpiarvo merkittynä punaisen neliön sisään.

Autolla ajetut kilometrit syötettiin tutkimuksen takia kohtaan 'Ajoneuvon tyyppi', jotta jokaisessa dokumentissa näkyy myös autolla ajetut kilometrit.

Kun perustiedot on täytetty, käynnistetään auto, mikäli se on sammutettu välissä ja liitetään laitteen OBD-pistoke auton 16-napaiseen diagnostiikkapistokkeeseen kierrosnopeuden ja lämpötilatietojen saamiseksi. OBD-pistokkeen sijainnin havaittiin vaihtelevan ajoneuvovalmistajan toteutustavasta riippuen, löytyen kuitenkin useimmiten suoraan auton hallintapolkimien yläpuolelta tai niiden vierestä (kuva 5). Joissain tapauksissa se löytyy esimerkiksi keskikonsolista tai keskikyynärnojan alta.



Kuva 5. Kuvassa OBD-pistoke, joka löytyi kyseisessä autossa kuljettajan oven läheisyydestä hallintapolkimien vierestä.

OBD-pistokkeen kytkennän jälkeen sijoitetaan sekä opasiteettiperiaatteella toimivan mittakammion että massavirtakammion mittauspää auton pakoputkeen. Molempien mittauspäiden sijoittaminen samaan pakoputkeen pyrittiin toteuttamaan siten, että molemmat mittapää, eli sondit, olisivat mahdollisimman samalla tavalla sijoitettuina pakoputkessa, mutta tämä on käytännössä erittäin vaikea toteuttaa pakoputkien muodoista ja halkaisijoista johtuen. Lisäksi mittauspää sijoitettiin aina samaan pakoputkeen tulosten vastaavuuden varmistamiseksi (kuva 6), sillä pakokaasujen virtaus voi olla eri suuruinen pakoputken eri ulostuloissa. Tulosten täytyy olla vertailukelpoiset keskenään. Tämä onnistuu vain, jos pakokaasumittaukset on suoritettu yhdestä ja samasta pakoputkesta.



Kuva 6. Kuvassa mittauspääät sijoitettuna samaan pakoputken ulostulopäähän.

Näiden valmisteluiden jälkeen mittautapahtuma voidaan aloittaa. Ohjelma pyytää mittaajaa suorittamaan polkaisun, eli painamaan kaasun pohjaan reippaasti (kuva 7) ja yhtäjaksoisesti, kunnes ilmoittaa että kaasun voi vapauttaa. Tässä vaiheessa ideana on nostaa pyörintänopeus rajoittimelle ja valvoa, että ryntäyspyörintänopeus on oikea eikä moottori kierrä yli ajoneuvovalmistajan rajoituksen. Tätä vaihetta kutsutaan ryntäytyspyörintänopeuden määrittämiseksi.



Kuva 7. Ryntäytyspyörintänopeuden määrittäminen käynnissä.

Tämän jälkeen aloitetaan varsinaiset mittaukset, joita voi olla 1-8 kappaletta tuloksista riippuen. Moottorin ja mahdollisen turboahtimen on oltava joutokäynnillä ennen kutakin vapaata kiihdytystä, joten jokaisen ryntäytyksen jälkeen tulee odottaa 10 sekuntia polkimen nostamisesta ennen kuin aloitetaan seuraava ryntäytys. Tätä odottamisaikaa kutsutaan joutokäynnin vakauttamiseksi.

Vapaassa kiihdytyksessä moottorin on saavutettava normaali ruiskutuksen katkaisun pyörimisnopeus tai valmistajan mittausta varten ilmoittama muu pyörimisnopeus. Automaattivaihteistolla varustetun auton savutusmittauksessa on huomioitava mahdolliset valmistajan antamat erityisohjeet muun muassa vaihteenvaihtajien asennosta ja moottorin pyörimisnopeudesta. Jos automaattivaihteistolla varustetun auton erityistä mittaussyörimisnopeusarvoa ei ole käytettävissä, moottorin on saavutettava 2/3 ruiskutuksen katkaisun normaalista pyörimisnopeudesta. (Trafí 2014)

Kuten edellä on mainittu, joidenkin uudempien autojen kohdalla kierroksia on rajoitettu ja auto sallii kierrosten noston vain rajallisesti huippuarvoon verrattuna. Tämä voidaan monessa tapauksessa kiertää kytkemällä auton luistonesto pois päältä, painamalla kytkinpoljin pohjaan ja kytkemällä vaihde päälle. Tällöin auto sallii kierrosten noston rajoittimelle asti ja päästömittauksesta saadaan rajoittamattomaan verrattavissa oleva tulos.

Mittaustapahtuma on valmis, mikäli tulos alittaa sallitut rajat. Tarvittaessa ryntäytyksiä suoritetaan useampi, jotta saadaan hyväksytty keskiarvo ryntäytyksien välille. Tämän jälkeen ohjelma siirtyy viralliseen tulositilaukseen, josta tiedosto tallennetaan ohjelman kantaan. Seuraavaksi mittaus toistetaan samalla menettelyllä, jotta tutkimukseen saadaan kaksi suoritusta jokaisesta autosta.

Virallista mittausohjelmaa käytetään myös OBD-vikakoodien lukemiseen, joka suoritettiin tutkimukseen liittyen jokaiselle autolle päästömittauksen jälkeen, jotta nähtiin onko autossa päästöihin liittyviä vikakoodeja ja täten vaikutusta tulokseen. Tätä toimenpidettä ei suoriteta normaalisti dieselöljyä polttoaineena käyttäville autoille katsastuksen yhteydessä.

3.2.2 Massavirtaperiaate

Uudella massavirtakammiolla suoritettut mittaukset vastaavat pitkälti perinteistä mittausmenettelyä, mutta tässä vaiheessa mittauksista läpiviemiseksi tarvittiin rinnalla virallista mittauksista, joka ohjeistaa mittajaa suorittamaan tarvittavat toimenpiteet oikeassa järjestyksessä ja siten, että esimerkiksi pyörintänopeuden tasaus ryntäytyksen jälkeen tapahtuu hyväksytysti. Massavirtaperiaatteella mittaavan Smoke 2000 –mittalaitteen ohjelma piirtää näyttöpäätteelle diagrammia k-arvon muutoksesta ajan suhteen. Ohjelma ei anna ohjeita ryntäytyksen suorittamiseen, eikä hyödynnä esimerkiksi pyörintänopeustietoa, joten varsinaista mittauksista seurattiin opasiteetti-

mittauksen tapaan virallisesta mittausohjelmasta ja tulosta verrataan jälkikäteen perinteisen opasiteetikammion tulokseen.

Tuloksen tallennus pysäytetään, kun virallinen opasiteetti-mittaustapahtuma tallennetaan. Tämän jälkeen tulokset nollataan ja mittaus aloitetaan alusta puhtaalla pohjalla. Tiedostot tallennetaan Excel-muotoon, josta ne käsitellään poimimalla mittauspiikin huippukohta vertailuarvoksi opasiteettitulokselle.

Kun massavirtaan perustuva kammio saadaan sarjatuotantoon ja osaksi mittauslaitteistoa, saadaan se kytkettyä ohjelmistoon perinteisen opasiteetikammion tapaan ja tulos näytetään suoraan direktiivin mukaisesti k-arvona näyttöpäätteellä.

4 TULOSTEN ESITTELY

Euro 3 ja Euro 4 -päästövaatimusluokan mukaisia autoja mitattiin 60 kappaletta, mutta kahden epäonnistuneen mittaustuloksen poissulkeminen jälkikäteen aiheutti sen, että otanta on 58 autoa. Tämä ylittää alun perin suunnitellun 50 auton rajan. Tulokset on luetteloitu yksilöllisesti Excel-taulukkoon (Liite 1). Tulokset on listattu suuruusjärjestykseen pienimmästä opasiteettimittauksesta alkaen helpottamaan vertailua.

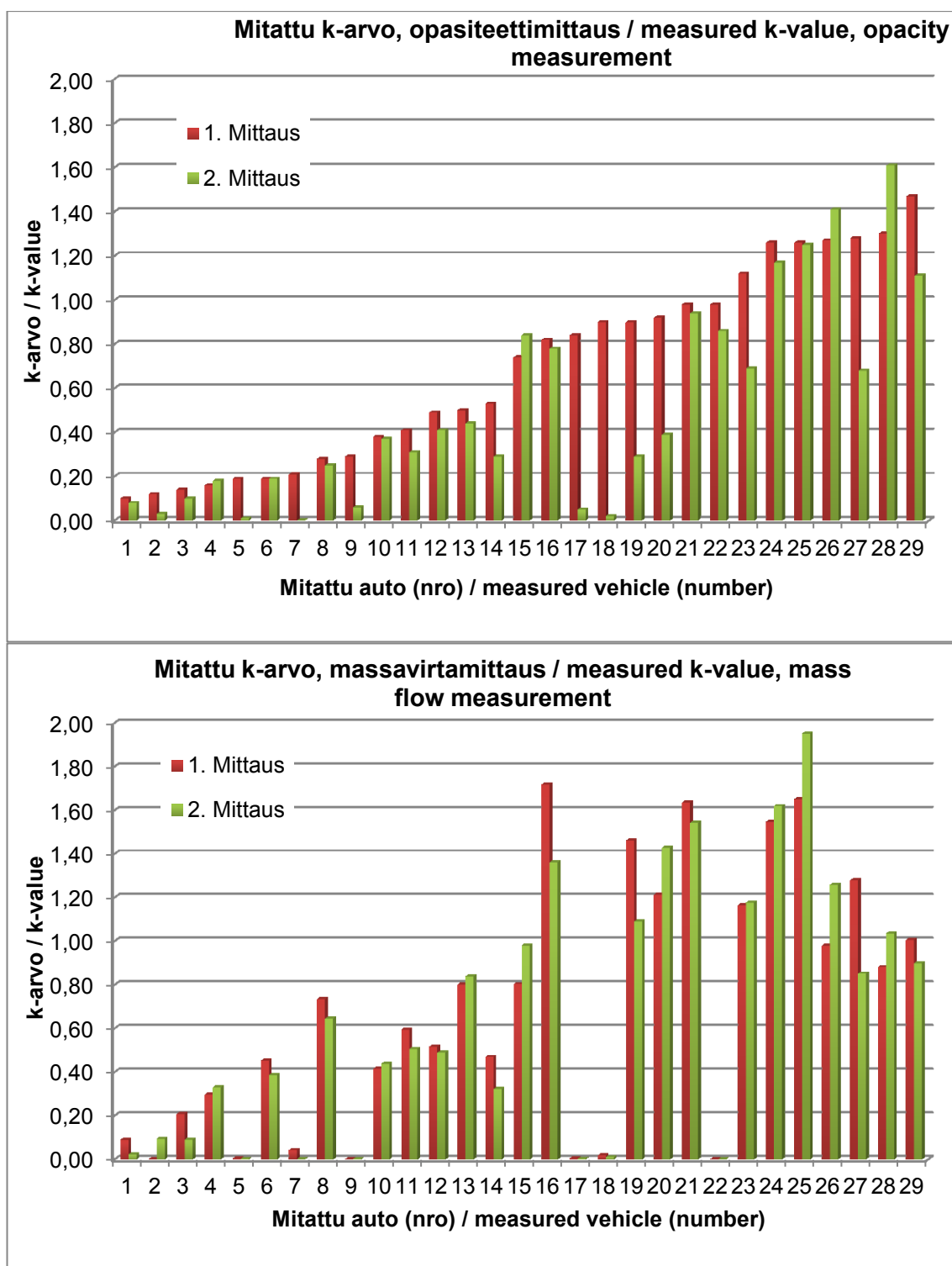
Mittaustuloksista muodostettiin Excel-kuvaajat, jotka ilmaisevat hyvin otannan autojen mitattuja arvoja. Tuloksissa on verrattu ensimmäistä ja toista mittausta keskenään molemmilla mittausmenettelyillä, ensimmäisen ja toisen mittauksen absoluuttista erotusta k-arvona sekä opasiteetti- ja massavirtamittauksen tuloksen absoluuttista erotusta k-arvona.

Toisessa aiheeseen liittyvässä opinnäytetyössä Pekka Lesonen on koostanut vastaavat taulukot ja kuvaajat Euro 5 ja Euro 6 -päästöluokkien autokannasta.

Käytetyt kuvaajat on jaettu kahteen suuruusluokkaan. Ensimmäisenä tulee kuvaajapari kuvaajista, jotka ovat kymmenyksien suuruisia tai suurempia. Tämän jälkeen on esitetty kahden kuvaajan kuvaajapari joka kuvaa pieniä, lähes Euro 5 -luokitusten mukaisia tuloksia. Tulokset on jaettu siten, että niitä voidaan käsitellä karkeasti todennäköisen hiukkasloukun, eli hiukkas-suodattimen olemassaolon mukaan.

Osa autoista on tehty alittamaan Euro 5 -päästöluokitus, vaikka ne ovat ajoneuvorekisterissä Euro 4 -tasoisina. Euro 5 -päästöluokan alittaminen käytännössä pakotti ajoneuvovalmistajat käyttämään hiukkassuodattimia, mutta osa valmistajista on käyttänyt kyseistä hiukkastenrajoitusmenetelmää jo aiemmin.

4.1 K-arvo eri mittausmenetelmillä

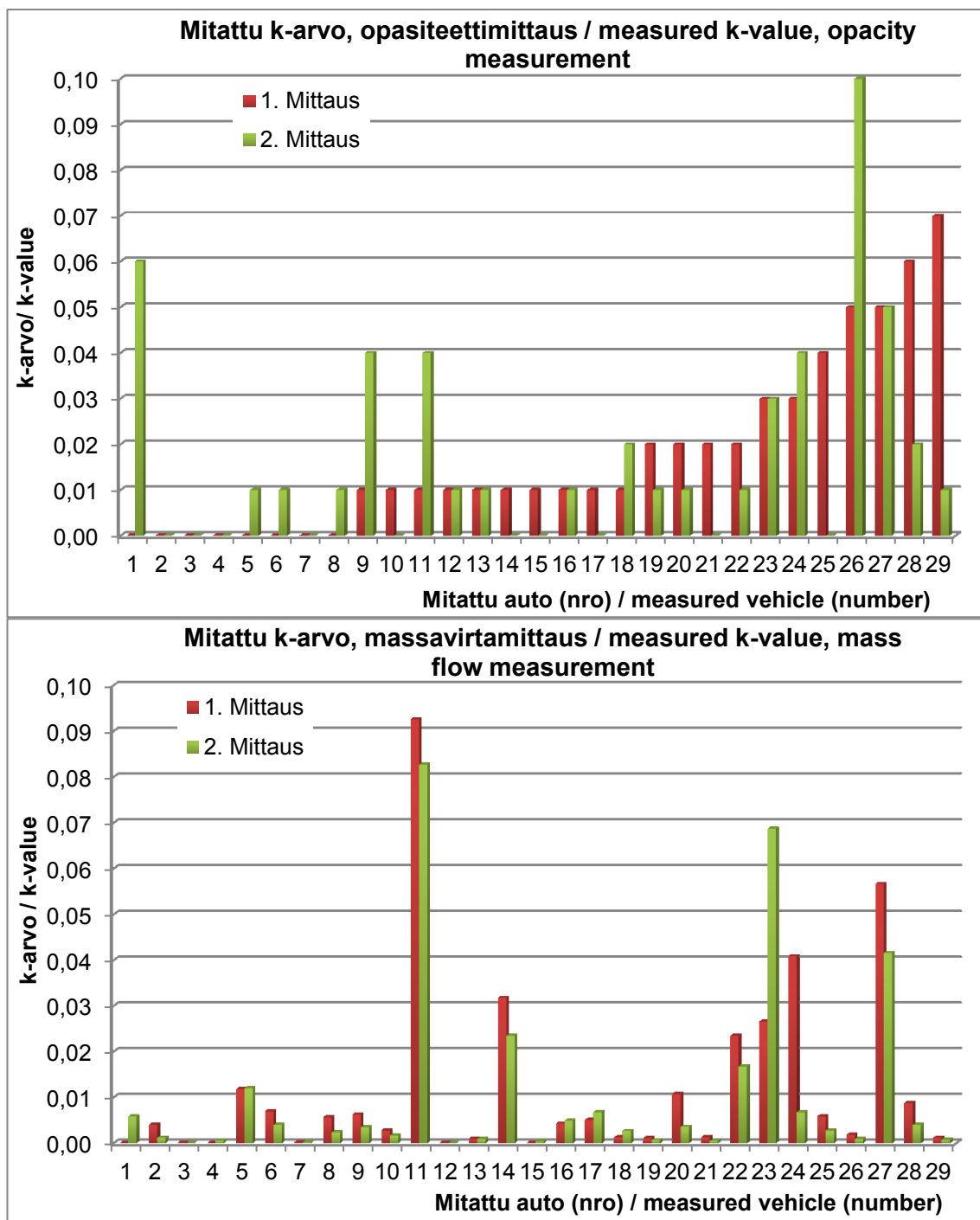


Kuvio 1. Opasiteettimittauksen (yläkuvake) ja massavirtamittauksen (aläkuvake) k-arvot eniten hiukkasia päästäneillä koeautoilla.

Yllä olevasta kuviosta (kuvio 1) nähdään, että suuressa osassa opasiteetti-periaatteella tehdyistä mittauksista ensimmäinen mittaus tuotti suuremman tuloksen kuin toinen mittaus. Myös massavirtaa esittävistä pylväistä havaitaan, että ensimmäinen mittaustulos on useammin jälkimmäistä suurempi. Tämä johtuu siitä, että usein ensimmäisellä ryntäytyksellä pakoputkistosta tulee enemmän pakokaasukomponentteja kuin toisella, mikäli autoa ei ole niin sanotusti puhdistettu karstasta ajamalla. Tuloksista nähdään myös se, että massavirtatuloksien erot ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä ovat keskimäärin pienempiä kuin opasiteettikammioilla saaduissa tuloksissa.

Autot numero 17 ja 18 havainnollistavat hyvin massavirtamittauksen mittaus-tarkkuuden paremmuutta opasiteettikammioon verrattuna. Ensimmäisellä opasiteettimittauksella molemmissa tulos on lähes 1,0 suuruinen, mutta seuraavalla mittauksella vain noin 10 prosenttia edellisen mittauksen suuruudesta ($k=0,10$). Massavirtamittaus antaa tasaisemmin tuloksen, joka on molemmilla mittauksilla samaa suuruusluokkaa kuin toisen opasiteetti-mittauksen tulos.

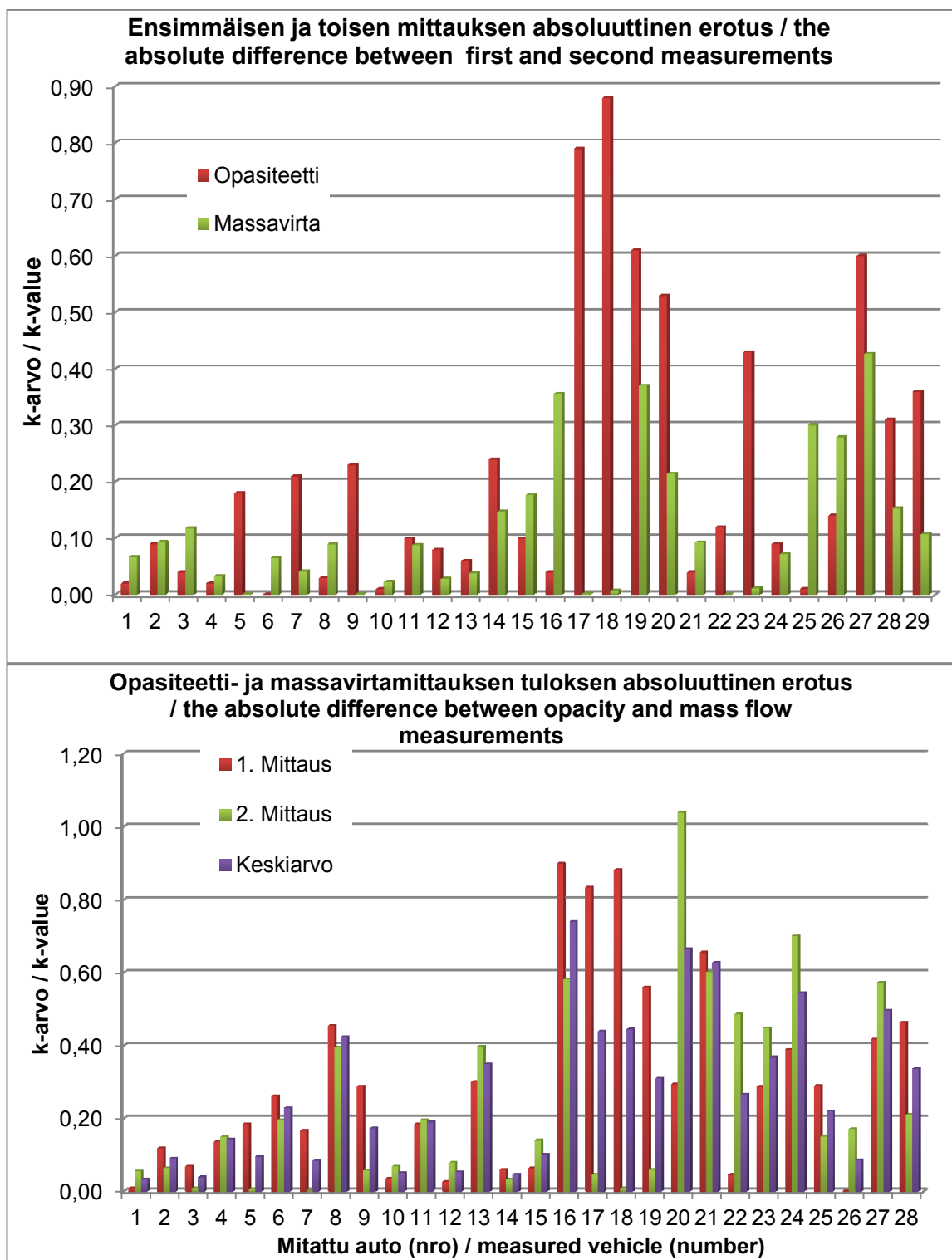
Kuviossa 2 on esitetty kuvion 1 tapaan k-arvot molemmilla mittaustavoilla vähiten hiukkasia päästäneillä autoilla.



Kuvio 2. K-arvot molemmilla mittaustavoilla vähiten hiukkasia päästäneillä autoilla.

Tässä kuviossa (kuvio 2) ensimmäisen mittaustuloksen ero suhteessa jälkimmäiseen ei yhtä selkeästi ole nähtävissä, niin kuin se oli isommilla k-arvoilla. Tulosten ollessa suuruudeltaan 0,00-0,10 on niiden välinen ero vaikeampi havaita.

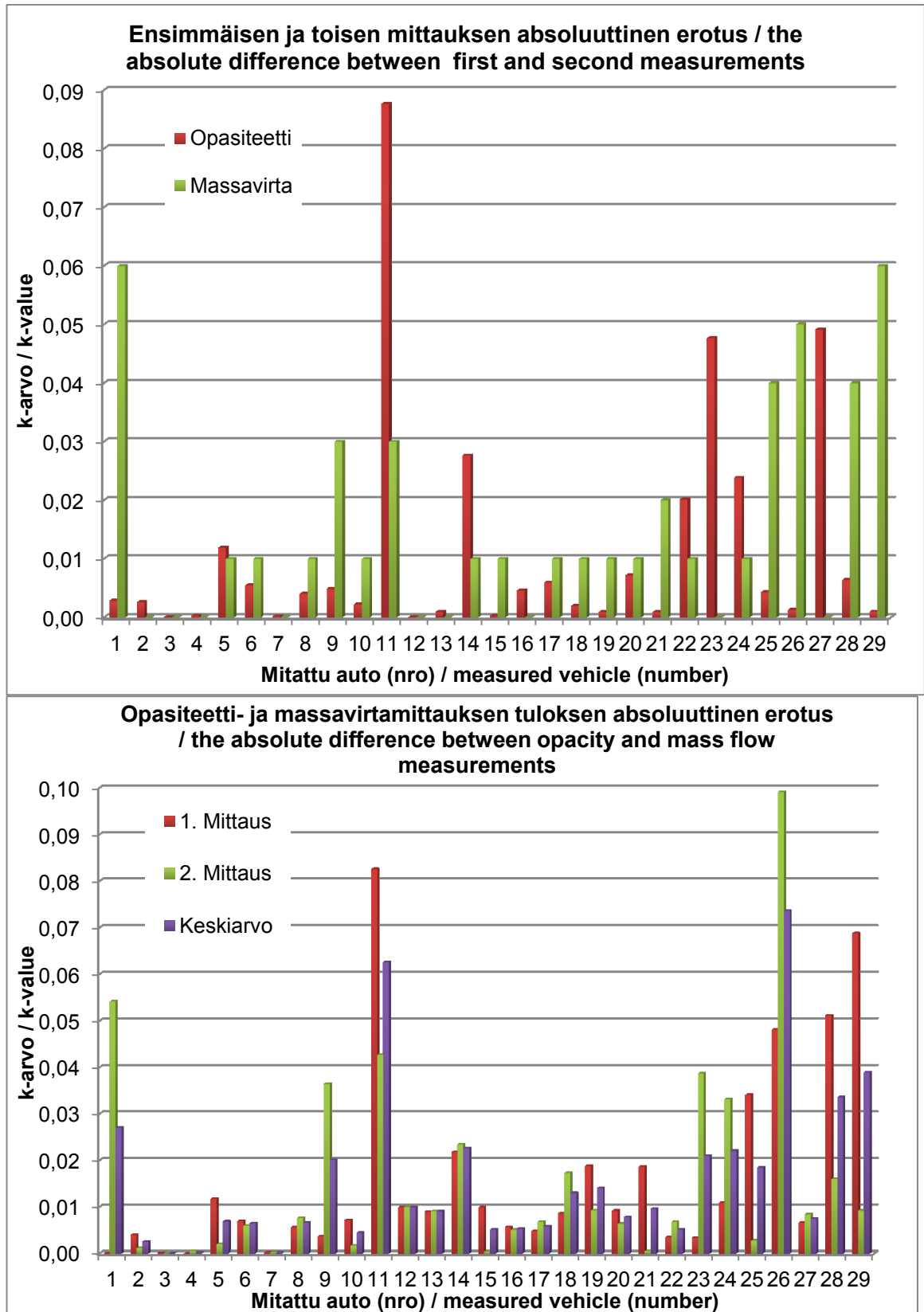
Kuviossa 3 esitetään itseisarvona ensimmäisen ja toisen mittauksen absoluuttinen erotus sekä opasiteetti- ja massavirtamittauksen tuloksen absoluuttinen ero ensimmäisen ja toisen mittauksen sekä mittauskertojen keskiarvon mukaan autoille jotka päästivät eniten hiukkasia.



Kuvio 3. K-arvon erotuksen itseisarvo mittauskertojen välillä eniten hiukkasia päästäneillä autoilla.

Kuvion (kuvio 3) ylemmästä kuvakkeesta selviää hyvin, että mittausten väliset erot opasiteetikammiolla ovat huomattavasti suurempia kuin massavirtamittauksella mitattujen. Opasiteettitulosten erot mittausten välillä ovat jopa kaksi kertaa niin suuria kuin massavirralla mitattujen. Autojen numero 17 ja 18 suuri ero opasiteetti ja massavirtamittausten välillä näkyy kuvaajaparin 3 ensimmäisessä pylväsdiagrammissa. Tämä aiheutuu usein ensimmäisen mittauksen virheellisestä tuloksesta opasiteettimittauksessa, jonka on aiheuttanut esimerkiksi alle ihannelämpötilansa oleva katalysaattori ja sen seurauksena aiheutunut valkea savu tai pakoputkistossa on ollut nokea, joka on lähtenyt liikkelle ryntäytyksen aikana.

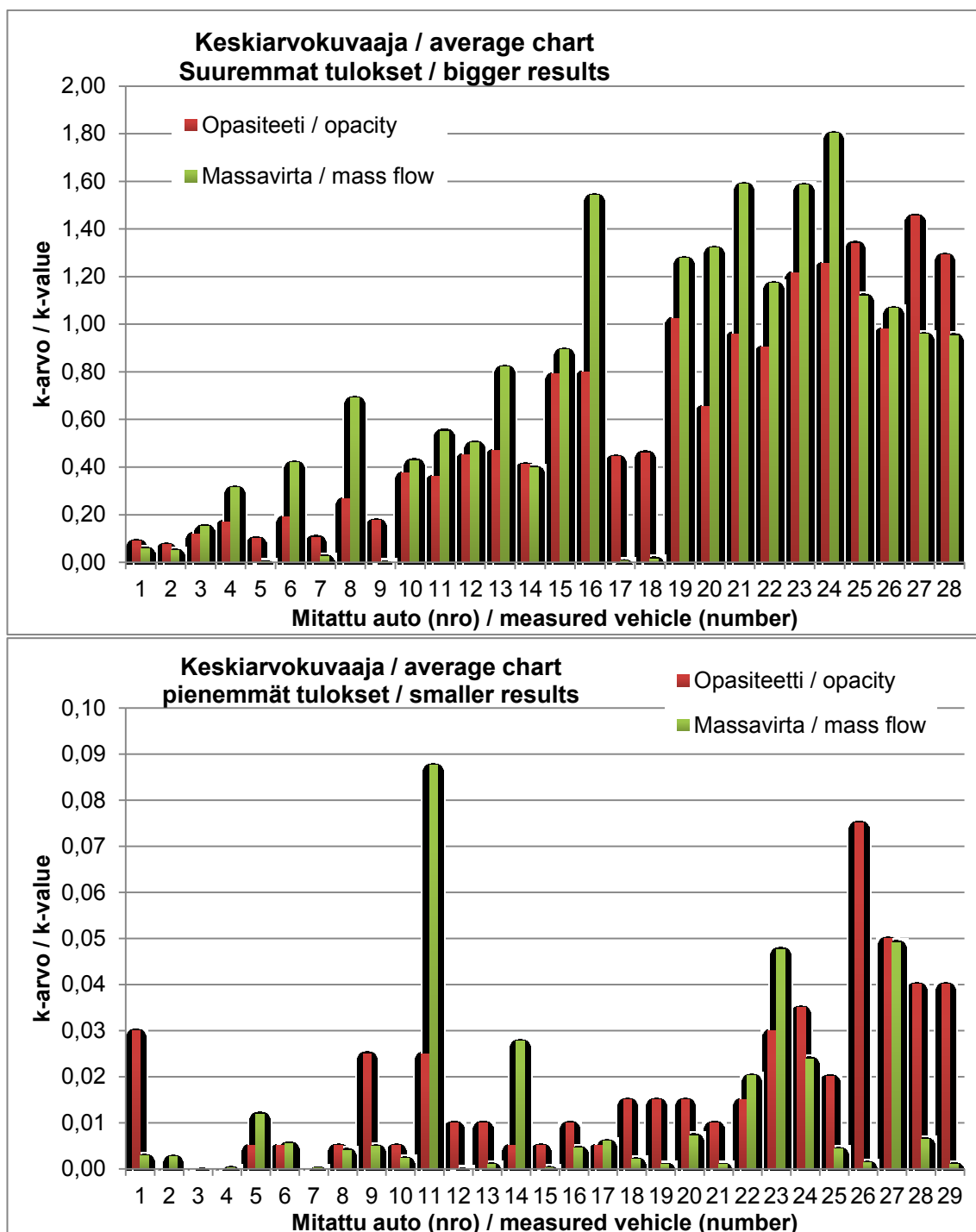
Kuviossa 4 esitetään itseisarvona ensimmäisen ja toisen mittauksen absoluuttinen erotus sekä opasiteetti- ja massavirtamittauksen tuloksen absoluuttinen ero ensimmäisen ja toisen mittauksen sekä mittauskertojen keskiarvon mukaan autoille jotka päästivät vähiten hiukkasia.



Kuvio 4. K-arvon erotuksen itseisarvo mittauskertojen välillä vähiten hiukkasia päästäneillä autoilla.

Kuviossa (kuvio 4) eroavaisuudet eivät vastaa edellistä kuvaajaparia. Tulosten ollessa 0,00-0,10 suuruisia, tulee massavirtamittauksen tarkkuus esiin myös tulosten välisessä eroavaisuudessa. Opasiteetikammion tulos on usein suuruudeltaan 0,00 kun vastaavasti massavirtamittauksella saadaan tulos paljon tarkemmin, jopa tuhannesosien tarkkuudella. Tästä syystä myöskin eroavaisuudet ensimmäisen ja toisen mittauksen välillä ovat sellaisia, että erotuksen ollessa opasiteettimenetelmän kohdalla nolla erottuvat massavirtamittauksen pylväät luonnollisesti korkeampina, vaikka erotus massavirtatulosten välillä ei olisikaan suuri.

Mitattuja k-arvoja rinnakkain eri menetelmillä keskiarvojen avulla on esitettynä kuviossa 5.



Kuvio 5. Mitatut k-arvot rinnakkain eri menetelmillä keskiarvojen avulla esitettynä.

Kuvion 5 ylemmässä kuvakkeessa on esitettynä enemmän hiukkasia päästäneiden autojen keskiarvotulokset. Alemmassa kuvakkeessa on puolestaan vähemmän hiukkasia päästäneiden autojen keskiarvopylväät.

4.2 Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani

Taulukossa 1 esitetään opasiteetti- ja massavirtamittausten tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani ensimmäisellä ja toisella mittauksella.

Taulukko 1. Tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani taulukoituna

	1. Opasiteetti (1/m)	2. Opasiteetti (1/m)	1. Massavirta (1/m)	2. Massavirta (1/m)
Keskiarvo / average	0,354	0,267	0,351	0,339
Keskihajonta/ standard deviation	0,459	0,412	0,533	0,529
Mediaani / median	0,085	0,045	0,021	0,012

Taulukon (taulukko 1) tuloksista nähdään massavirtatulosten keskiarvon pieni ero ensimmäisen ja toisen mittaukserran välillä. Tarkastellessa opasiteetti-mittausten kohdalla samoja keskiarvotuloksia voidaan todeta, että näiden välinen ero on huomattavasti suurempi kuin massavirtamittausten kohdalla.

Molemmilla mittaustavoilla mediaani on selvästi pienempi kuin mittaustulosten keskiarvo. Tämä johtuu siitä, että mitattu k-arvo on uudella, hiukkasloukulla varustetulla dieselautolla usein lähellä tulosta 0,00 1/min. Lähes nollatulosten suuri määrä painaa mediaanin lähelle nollaa. Mittausmenetelmien erosta kertooakin enemmän kaksi muuta tulosten tulkintaan liittyvää arvoa, keskiarvo ja keskihajonta.

Keskiarvo on ensimmäisellä mittaukserralla lähes sama mittausmenetelmästä riippumatta. Toisella mittauksella eroavaisuutta mittausmenettelyjen välille syntyy hieman. Nähdään, että massavirtamittauksella saatujen tulosten keskiarvo ei eroa mittaukserrasta riippuen, vaan on stabiilimpi kuin opasiteetti-

mittauksen tulokset, joissa ensimmäisen ja toisen mittauksen välinen tulos voi heitellä suuresti ensimmäisen mittauksen satunnaisista isoista hiukkasista johtuen.

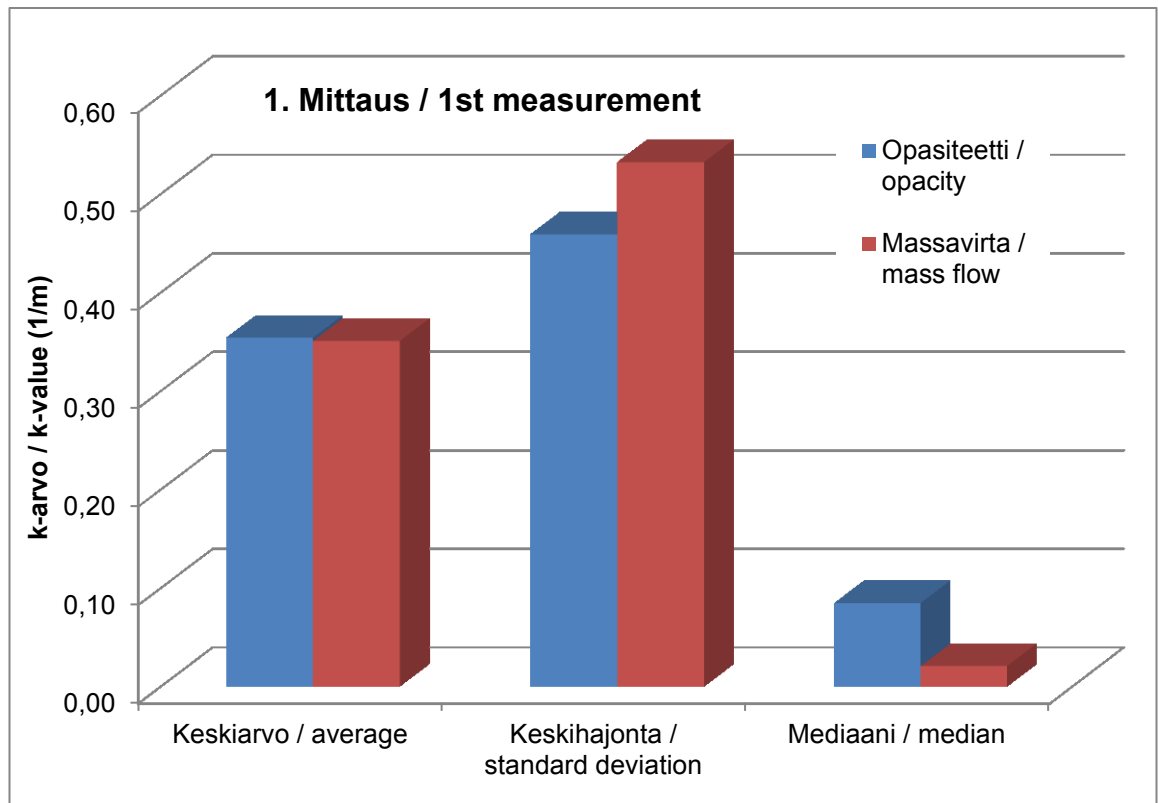
Tulosten keskihajonta on opasiteettimittauksella hieman pienempi kuin massavirtamittauksella. Massavirtamittauksella keskihajonta on tasaisempi mittauskertojen välillä. Massavirtatulosten keskihajonta eroaa toisistaan selvästi alle prosentin kun taas opasiteettimittausten eroavaisuus on noin 12 prosenttia.

Keskiarvo on aritmeettinen keskiarvo. Keskiarvo määritetään laskemalla kaikki mittaustulokset yhteen ja jakamalla saatu summa mittaustulosten lukumäärällä.

Keskihajonta pyrkii mittaamaan arvojen vaihtelua keskiarvon molemmin puolin. Keskihajonta ilmaisee havaintojen keskimääräisen poikkeaman keskiarvosta (Tilastoapu 2011).

Mediaani on suuruusjärjestyksessä olevien tulosten keskimäinen luku tai kahden keskimäisen luvun keskiarvo (Tilastoapu 2011). Puolet tuloksista ovat korkeintaan mediaanin suuruisia, toinen puoli tuloksista on suurempia tai vähintään yhtä suuri.

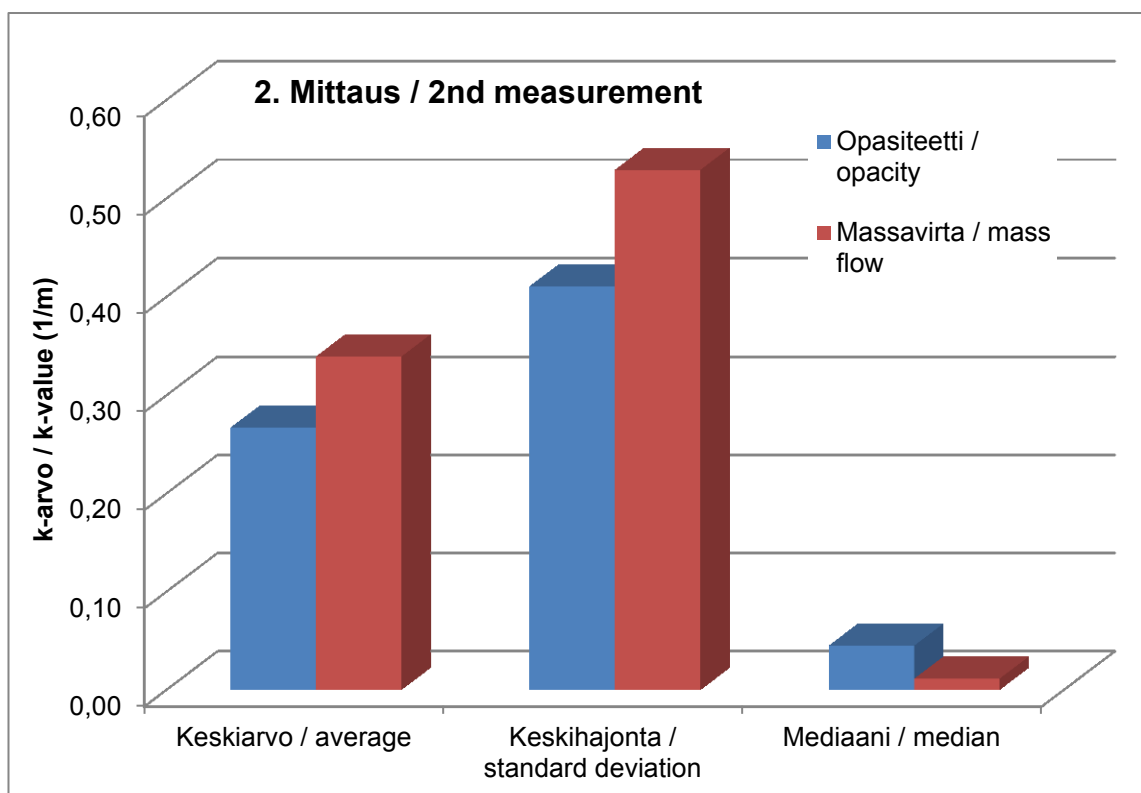
Kuviossa 6 esitetetään taulukon 1 mukaisesti kaikkien mitattujen autojen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani ensimmäisen mittauksen osalta.



Kuvio 6. Ensimmäisen mittauksen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani kaikilla autoilla.

Kuvion 6 opasiteettimittauksen tulosten keskiarvo ensimmäisellä mittauksella on 0,354 1/m ja massavirtamittauksella ensimmäisten mittausten keskiarvo on 0,351 1/m. Keskihajonta ensimmäisellä mittauksella on opasiteettimenetelmällä 0,459 1/m ja massavirtamittauksella 0,533 1/m. Ensimmäisten mittausten mediaani opasiteettimenetelmällä on 0,085 1/m ja massavirtamittauksella 0,021 1/m.

Kuviossa 7 esitetään taulukon 1 mukaisesti kaikkien mitattujen autojen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani toisen mittauksen osalta.



Kuvio 7. Toisen mittauksen tulosten keskiarvo, keskihajonta ja mediaani kaikilla autoilla.

Kuvion 7 opasiteettimittauksen tulosten keskiarvo toisella mittauksella on 0,267 1/m ja massavirtamittauksella toisten mittausten keskiarvo on 0,339 1/m. Keskihajonta toisella mittauksella on opasiteettimenetelmällä 0,411 1/m ja massavirtamittauksella 0,529 1/m. Toisten mittausten mediaani opasiteettimenetelmällä on 0,045 1/m ja massavirtamittauksella 0,012 1/m.

5 TULOSTEN ANALYSOINTI

5.1 Päätelmät tuloksista

Päätavoite savutusmittauksessa nykyisellään on poimia katsastettavien autojen joukosta vain ne yksilöt, joiden päästöt poikkeavat rajoista suuresti ja ovat selvästi haitallisia ympäristölle. Nykyisellään katsastuksessa sovellettavat päästörajoitukset dieselöljyä polttoaineenaan käyttävien henkilöautojen kohdalla ovat niin väljät, että ne sallivat suhteellisen suuret vaihtelut tuloksessa ilman, että niihin puututaan.

Uusi mittausmenettely, joka sisältää mittauksen massavirtakammiolla, mahdollistaisi tämän tutkimuksen tulosten perusteella päästörajoitusten uudelleentarkastelun ja mahdollisuuden tarkempaan valvontaan päästömittauksen yhteydessä.

Pienemmät hiukkaset kulkeutuvat syvemmälle hengitysteissä (Autoalan tiedotuskeskus 2012), joten massavirtamittaus, joka poimii hiukkasia, jotka eivät vaikuta valonläpäisyyseen, mutta siroavat valoa ja näkyvät täten massavirtatuloksissa, on tämän kannalta ympäristöystävällisempään tulevaisuuteen tähdätessä parempi keino mitata dieselautojen pakokaasuja.

Siinä missä opasiteettimenetelmän tuloksissa eroavaisuudet ensimmäisen ja toisen mittauksen k-arvojen välillä voivat olla luokkaa 0,8 yksikköä, näyttää siltä, että massavirtamittauksella erot ovat pienempiä, suurimmillaan 0,4 yksikön suuruisia. Vaihtelu tulosten välillä jää siis paljon pienemmäksi. Epätarkkuus on täten auttamatta liian suuri tekijä mittausten luotettavuudessa osana päästörajoitusten valvontaa. Jo nyt voimassa olevat sekä tulevaisuudessa yhä tiukkenevat päästörajoitukset tulevat tekemään vaatimustenmukaisuuden toteutuksen mahdolliseksi katsastuksessa, mikäli mittausmenettely pysyy nykyisellään.

Tuloksista nähdään, että massavirtamittaus näyttää tulokset huomattavasti tarkemmin sekä aivan alhaisilla hiukkaspäästöillä että mentäessä toista ääripäätä kohti, mittaustulosten k-arvojen ollessa suurempia 1,0. Hiukkaspäästöjen keskialueella tulokset kahden mittaustavan välillä eivät poikkea niin suuresti toisistaan kuin ääripäissä. Ääripäiden tuloserot johtuvat todennäköisesti siitä, että opasiteettikammio ei pysy mukana hiukkasmäärän - ja täten valonläpäisykyvyn - muutoksessa siinä missä valon sirontaa mittaava kammio pysyy.

Uudempaa mittausmenettelyä voisi alustavan päättelyn perusteella soveltaa myös vanhempaan ajoneuvokalustoon, sillä massavirtatulokset näyttävät pysyvän tarkempina k-arvon ylittäessä 1,0 rajan ja ovat täten todennäköisempinä. Tällöin testi olisi 'armottomampi' vikaherkille yksilöille, joilla on päästöjen kanssa pientä ongelmaa, mutta jotka kuitenkin läpäisevät päästötestin nykyisellä mittaustavalla vaivatta mittausmenettelyn epätarkkuudesta johtuen. Nykyisellään katsastuksessa hylätään hyvin pieni prosentti dieselautoista päästöjen perusteella juuri päästörajojen väljyyden takia. Massavirtalaitteisto toisi tarkkuutta ja sen myötä kenties tarkempaa puuttumista päästövikoihin katsastuksen yhteydessä.

Voidaan todeta, että suoritettujen mittausten perusteella valon siroamisen mittaamiseen perustuva mittakammio on tarkkuudeltaan sellainen, jollainen mittaustulosten tulisi olla nykyisillä päästörajoituksilla. Kammion tarkkuus sopisi erityisesti hiukkassuodattimillisten autojen mittaukseen. Sitä voisi käyttää myös nykyisen opasiteettikammion rinnalla vaihtoehtoisena mittausmenettelynä vanhempienkin autojen kohdalla.

5.2 Tuloksiin vaikuttavat tekijät

Tutkimus toteutettiin oppilastyönä ja sen toteuttamisen ajankohtana vallinneissa olosuhteissa. Käytössä ei ollut suljettua laboratoriotilaa ja mittauksia suoritettaessa jouduttiin välillä tehdä kompromisseja, jotta mittaukset saatiin suoritettua. Seuraavassa on kerätty päätelmiä mahdollisista tuloksiin vaikuttavista tekijöistä, jotka mahdollisesti vähensivät tulosten tarkkuutta mutta joita ei pystytty vallitsevissa olosuhteissa optimoimaan tutkimuksen eduksi.

Pakokaasunäytteen ottamisessa käytetyt mittauspääät eli sondit aseteltiin pakoputkeen satunnaisesti suhteessa putken ympyrän halkaisijaan. Lisäksi molemmat kyseiset mittauspääät asetettiin pakoputkeen samaan aikaan, joten ne sijaitsevat eri paikassa suhteessa pakoputken ulostulon keskikohtaa. Tämä voi aiheuttaa heittelyjä mittaustuloksissa, sillä virtaus ei välttämättä ole yhtä suuri reunalla kuin se on keskellä putkea.

Autoja ei kierrätetty kierrosluvun rajoitinta vasten lämpimäksi ajon aikana ennen mittausten aloittamista, joten ensimmäisellä polkaisukerralla pakoputkistosta on mahdollisesti tullut enemmän päästöjä pakoputkeen kerääntyneiden nokihiukkasten takia kuin toisella mittauksella, mikäli autoilla on ajettu vain lyhyitä pätkiä ja ne ovat sen jälkeen olleet autoliikkeiden myyntihallissa pitkään seisomassa.

Ensimmäisen polkaisun tuottama ”ylimääräinen” noki ei näy massavirtamittauksessa niin selvästi kuin opasiteettimittauksessa. Tämä perustuu todennäköisesti siihen, että vaikka pakoputkesta tulisi muutama kappale isompia hiukkasia, voi niiden massa olla pienempi kuin useamman pienen hiukkasen tuottama massa. Valonläpäisyä isot hiukkaset kuitenkin estävät tehokkaammin kuin pienet, jolloin opasiteettimittaus näyttää suurta tulosta, mutta massavirta pienempää. Tästä saadaan eroavaisuus mittausmenettelyjen välille, sillä massavirta ei altistu niin herkästi satunnaisten tulosta muuttavien partikkelien vaikutukselle.

Autot on mitattu pelkästään rekisteröintipäivämäärän perusteella luokiteltuna, joten tarkkaa tietoa päästöluokista ei kaikkien autojen kohdalla ole. Osa rajatapauksien päästöluokista saatiin varmistettua autovalmistajien virallisten maahantuojaliikkeiden kautta. Tuloksia tarkastellessa havaittiin, että useat niistä olivat samaa suuruusluokkaa kuin Pekka Lesosen työssä Euro 5 -autojen kohdalla. Tämä on kuitenkin selitettävissä sillä, että jo Euro 4 -autoja on valmistettu hiukkassuodattimella varustettuina, jolloin ne alittavat selkeästi myös Euro 5 -päästörajat vaikka ovat rekisterissä Euro 4 -tasoisia rekisteröintivuodesta johtuen. Tulosten suuruudesta nähtiin, että noin 25:ssä mitatuista 58 autosta on oletettavasti hiukkaslouku eli –suodatin osana pakoputkistoa.

Tutkimuksen rajallisesta datan määrästä johtuen olisi perusteltua suorittaa jatkotutkimus, joka käsittäisi pitemmän aikavälin ja suuremman ajoneuvokannan, jotta voitaisiin paremmin ottaa kantaa katsastuskäytännön muuttamisen kannattavuudesta.

6 YHTEENVETO

Työn aiheena oli tutkia mahdollisuuksia uudistaa dieselöljyä polttoaineena käyttävien henkilöautojen katsastuksen yhteydessä suoritettavaa pakokaasujen hiukkasmittausta. Tässä työssä mitattiin 58:n Euro 3 ja Euro 4 –päästötason mukaisen dieselhenkilöauton hiukaspäästöt kahta erityyppistä mittalaitetta käyttäen. Tehtäväkokonaisuteen kuului myös toinen opinnäytetyö, jossa mitattiin uusimpien päästöluokkien autoja.

Opinnäytetyössä käytiin läpi perinteinen opasiteettimittausmenettely ja uuden sukupolven opasiteettimittaukseksi kutsuttu valon sirontaan perustuva mittausmenettely. Lisäksi työssä esiteltiin käytetty laitteisto sekä käytiin läpi sen hankinta- ja huoltokustannukset.

Kerätty data koostettiin Excel-tiedostoksi, josta muodotettiin taulukoita ja kuvaajia. Näitä analysoitiin ja samalla pohdittiin mittausmenettelyjen välisiä eroavaisuuksia.

Analysoinnin tuloksena saatiin positiivinen näyttö siitä, että valon sirontaan perustuvan mittausmenettelyn käyttö nykyisen menettelyn tilalla tai rinnalla käytettäväksi olisi suositeltavaa. Valon siroamiseen perustuva mittakammio on huomattavasti opasiteetikammiota tarkempi ja vakaampi mittauskertojen välillä. Uuden teknologian kammio kykenee mittaamaan huomattavasti pienempiä tuloksia, kuin perinteinen opasiteetikammio.

Uusi kammio tulisi ottaa käyttöön osana katsastusta, mikäli nykyisten ja tulevien päästörajoitusten vallitessa päästöjenvalvontaa tahdotaan kehittää tehokkaammaksi ja tarkemmaksi. Hyöty uuden mittausmenettelyn käyttöönotosta saavutettaisiin pienipäästöisillä Euro 4, Euro 5 ja Euro 6 –päästöluokkien ajoneuvoilla. Tätä mittausmenettelyä voisi kuitenkin käyttää myös nykyisen opasiteettimenetelmän sijaan tai rinnalla vanhemmankin autokaluston kohdalla.

LÄHTEET

TransSmart, 2013. Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne. Viitattu 19.11.2014
http://www.transsmart.fi/files/33/TransSmart_Alykas_ja_vahahiilista_energiaa_kayttava_liikenne_Tutkimusohjelman_esite.pdf

VTT, 2013. VTT overview. Viitattu 19.11.2014
<http://www.vtt.fi/vtt/index.jsp>

Trafi, 2014. Tietoa Trafista. Viitattu 19.11.2014
http://www.trafi.fi/tietoa_trafista

Ikonen, M. 2014. Dieselautojen katsastuspäästömittauksen kehittäminen – tutkimussuunnitelma. Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.11.2014

Turun Yliopisto, 2011. Opasiteetti. Viitattu 19.12.2014
<http://www.astro.utu.fi/zubi/phys/opacity.htm>

AVL DiTest GmbH, 2010. AVL DiTEST SMOKE 2000 – second generation opacimeters. Viitattu 19.12.2014
http://www.avlditest.com/fileadmin/image/pdf_english/AVL_DiTEST_Flyer_Smoke_2000_E.pdf

Paavola P, 2002. Henkilö- ja pakettiautojen savutusmittauksen luotettavuus katsastuksessa. Viitattu 19.12.2014

Dieselnet, 2013. Emission standards. Viitattu 23.1.2015
<http://dieselnet.com/standards/eu/ld.php#stds>

Tilastoapu, 2011. Tunnuslukuja. Viitattu 19.12.2014
<https://tilastoapu.wordpress.com/tag/keskihajonta/>

Autoalan tiedotuskeskus, 2012. Liikenteen päästöt. Viitattu 19.12.2014
http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/liikenteen_paastot

Liite 1

Liite 1 : Liitteenä yksilölliset mittaustulokset suuruusjärjestyksessä.

Auton	Virallinen	Toinen	Smoke- 2000	Toinen
nro	k-arvo	mittaus	k-arvo	mittaus
1	0,0000	0,0600	0,0000	0,0058
2	0,0000	0,0000	0,0040	0,0012
3	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005
5	0,0000	0,0100	0,0118	0,0120
6	0,0000	0,0100	0,0070	0,0040
7	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002
8	0,0000	0,0100	0,0057	0,0024
9	0,0100	0,0400	0,0063	0,0035
10	0,0100	0,0000	0,0028	0,0017
11	0,0100	0,0400	0,0926	0,0827
12	0,0100	0,0100	0,0001	0,0000
13	0,0100	0,0100	0,0010	0,0009
14	0,0100	0,0000	0,0318	0,0235
15	0,0100	0,0000	0,0001	0,0004
16	0,0100	0,0100	0,0043	0,0049
17	0,0100	0,0000	0,0051	0,0068
18	0,0100	0,0200	0,0013	0,0027
19	0,0200	0,0100	0,0011	0,0007
20	0,0200	0,0100	0,0108	0,0036
21	0,0200	0,0000	0,0013	0,0005
22	0,0200	0,0100	0,0235	0,0168
23	0,0300	0,0300	0,0266	0,0687
24	0,0300	0,0400	0,0409	0,0068
25	0,0400	0,0000	0,0059	0,0028
26	0,0500	0,1000	0,0018	0,0009
27	0,0500	0,0500	0,0567	0,0416
28	0,0600	0,0200	0,0088	0,0040
29	0,0700	0,0100	0,0012	0,0008

Auton	Virallinen	Toinen	Smoke- 2000	Toinen
nro	k-arvo	mittaus	k-arvo	mittaus
30	0,1000	0,0800	0,0906	0,0235
31	0,1200	0,0300	0,0013	0,0945
32	0,1400	0,1000	0,2090	0,0908
33	0,1600	0,1800	0,2972	0,3303
34	0,1900	0,0100	0,0045	0,0032
35	0,1900	0,1900	0,4521	0,3868
36	0,2100	0,0000	0,0433	0,0015
37	0,2800	0,2500	0,7351	0,6453
38	0,2900	0,0600	0,0011	0,0024
39	0,3800	0,3700	0,4159	0,4384
40	0,4100	0,3100	0,5950	0,5065
41	0,4900	0,4100	0,5173	0,4892
42	0,5000	0,4400	0,8010	0,8390
43	0,5300	0,2900	0,4704	0,3230
44	0,7400	0,8400	0,8036	0,9802
45	0,8200	0,7800	1,7186	1,3621
46	0,8400	0,0500	0,0054	0,0033
47	0,9000	0,0200	0,0184	0,0109
48	0,9000	1,1500	1,4612	1,0906
49	0,9200	0,3900	1,2140	1,4287
50	0,9800	0,9400	1,6357	1,5426
51	1,1200	0,6900	1,1657	1,1771
52	1,2600	1,1700	1,5472	1,6194
53	1,2600	1,2500	1,6502	1,9510
54	1,2700	1,4100	0,9799	1,2588
55	1,2800	0,6800	1,2790	0,8517
56	1,3000	1,6100	0,8820	1,0354
57	1,4700	1,1100	1,0066	0,8991